ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201711.01425v1

补喂来曲唑对速步马运动性能、血浆抗氧化指标与激素水平及体重的影响

马　军　李晓斌　邓海峰　赵　芳　杨开伦*

（新疆农业大学动物科学学院，新疆肉乳用草食动物营养重点实验室，乌鲁木齐 830052）

摘　要：本试验旨在探究补喂来曲唑对速步马运动性能、血浆抗氧化指标与激素水及体重的影响。选取平均年龄为 2.5 岁、平均体重为（398.16±25.34） kg 的经过良好速步训练的伊犁马公马 10 匹，随机分为 2 组，分别为对照组和试验组，每组 5 匹。所有马匹每天饲喂混合牧草 10 kg、颗粒精料 3 kg，在此基础上试验组马匹每天每匹补喂 5 mg 来曲唑，进行 30 d 的饲喂试验和训练试验。分别在试验第 0 天、第 10 天、第 20 天、第 30 天清晨空腹颈静脉采血，测定血浆中激素指标；在试验第 0 天和第 30 天早晨空腹称重，并进行 1 000 m 速步赛，分别在赛前 1 h、赛后即刻、赛后 20 min、赛后 2 h 颈部静脉采集血液，测定血液酸碱度相关指标和血浆抗氧化指标。结果显示：补喂来曲唑能够提高试验马匹 1 000 m 速步赛成绩；赛后 2 h 时，试验组马匹血浆中过氧化氢酶（CAT）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、超氧化物歧化酶（SOD）活力，总抗氧化能力（T-AOC）及尿酸（UA）含量均高于对照组，其中 GSH-Px 活力、T-AOC 分别达到极显著（P＜0.01）和显著水平（P＜0.05），而血浆中丙二醛（MDA）含量则显著低于对照组（P＜0.05）。就血液酸碱度相关指标而言，在赛后即刻、赛后 20 min、赛后 2 h 试验组血液中碳酸盐（HCO_3^-）含量低于对照组（P＞0.05），而碱剩余（BEecf）、pH 则高于对照组（P＞0.05）。试验第 10 天、第 20 天、第 30 天时试验组马匹血浆中睾酮（T）、雄烯二醇（AD）水平均高于对照组（P＞0.05）。此外，补喂来曲唑还可提高速步马体重。因此，给速步马补喂 5 mg/（匹 • d）可缩短 1 000 m 速步赛比赛用时，提高机体的抗氧化能力和酸碱缓冲能力，并使血浆中 T 和 AD 水平上升，同时增加速步

收稿日期：2016-03-09
基金项目：新疆维吾尔自治区重大科技专项（201130101）；新疆维吾尔自治区研究生科研创新项目（XJGRI2015095）
作者简介：马　军（1990-），男，新疆伊犁人，硕士研究生，研究方向为马匹运动学。E-mail：Jun_works@163.com
*通信作者：杨开伦，教授，博士生导师，E-mail： yangkailun2002@aliyun.com

马的体重。

关键词：来曲唑；速步马；运动性能；抗氧化指标；激素；体重

中图分类号：S816 文献标识码：A 文章编号

来曲唑（letrozole，LE）是人工合成的非甾体高效选择性苄三唑类衍生物[1]，属于非甾体芳香化酶抑制剂，可通过与亚铁血红蛋白中的铁原子结合，同内源性底物竞争芳香化酶的活性位点，可逆地抑制该酶的活性，从而选择性抑制雌激素的生物合成，有效地阻断雄烯二酮及睾酮向雌激素的转化[2]，从而间接提高肌肉组织中雄激素水平，改善机体肌肉原细胞的发育[3]，促进肌肉的生长和力量的增加。研究证明，补喂来曲唑能够提高机体中雄激素水平和体重，较高的雄激素水平对运动能力的提高与维持也有积极的作用[4]。白双勇等[5]给肥胖男性少弱精症的治疗中喂服来曲唑 2.5 mg/d，3 个月后血浆睾酮水平显著高于对照组。赵华等[6]以雄性成熟 SD 大鼠为试验动物进行试验，结果表明双氢睾酮可促进骨骼肌的肥大，使肌肉横断面、肌肉湿重和主要组织相容性复合体（MHC）含量显著增加。刘艳丽[7]研究表明，给大鼠每天灌胃来曲唑 1 mg/kg BW，试验组体重比对照组高出 32.69%。研究表明，长期运动训练会导致运动马体内睾酮水平下降，低睾酮水平减少机体的同化作用而造成肌肉量减少，使运动训练效果下降[8]。伊犁马是我国优秀的运动马品种，但部分处于运动训练状态的伊犁马体重存在负增长情况，特别是在速步训练过程中伊犁马存在易疲劳、运动持续性差、运动后恢复慢等问题，严重制约了伊犁马运动性能的提高。因此，本试验根据来曲唑的生物学作用，对速步训练的伊犁马补喂来曲唑，探究其对速步马运动性能、血浆抗氧化指标和激素水平及体重的影响，为进一步提高速步马的运动性能提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间及地点

本试验于 2014 年 9 月 6 日至 2014 年 10 月 9 日在新疆伊犁哈萨克自治州昭苏马场进行。

1.2 试验动物选择及试验设计

chinaXiv:201711.01425v1

ChinaXiv合作期刊

本试验选取年龄、体重接近[平均年龄为 2.5 岁、平均体重为（398.16±25.34） kg）]，经过良好速步训练的伊犁马公马 10 匹，随机分为 2 组，分别为对照组和试验组，每组 5 匹。所有马匹每天饲喂混合牧草（苜蓿干草:山草=1:1）10 kg/匹、颗粒精料 3 kg/匹，在此基础上试验组马匹每天每匹补喂来曲唑片剂 2 片（每片片剂含来曲唑 2.5 mg，购自江苏恒瑞医药股份有限公司），进行 30 d 的补喂试验和训练试验。

1.3 饲养管理

试验期间所有马匹单厩饲养管理，采用先粗后精的饲喂方法。每天每匹马饲喂混合牧草（苜蓿干草:山草=1:1）10 kg、颗粒精料 3 kg。10 kg 混合牧草于 07:00、13:00、20:00 分别饲喂 3、4、3 kg，3 kg 颗粒精料平均分为 2 份，分别于 07:00 及 20:00 饲喂，于 07：00 将 2 片来曲唑片剂加入颗粒精料中一同饲喂给试验组马匹。试验期间所有马匹自由饮水，待饲粮采食完后，将马匹牵入活动场，让其自由活动。马厩每天按时打扫，清除粪便和垫料，并换干燥柔软的垫料。

本试验使用的饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the diet (DM basis）%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels	含量 Content
玉米 Corn	12.15	干物质 DM	92.90
麸皮 Wheat bran	2.80	有机物 OM	94.15
次粉 Wheat-middlings	2.34	粗蛋白质 CP	15.18
大豆粕 Soybean meal	4.37	中性洗涤纤维 NDF	54.98
磷酸氢钙 $CaHOP_4$	0.48	酸性洗涤纤维 ADF	29.80
石粉 Limestone	0.23	钙 Ca	0.66

chinaXiv:201711.01425v1

食盐 NaCl	0.47	磷 P	0.36
预混料 Premix	0.24		
混合牧草 Mixed pasture	76.92		
合计 Total	100.00		

预混料为每千克饲粮提供The premix provided the following per kg of the diet：VA 480 IU，VB_1 816.32 mg，VB2 333.2 mg，VB_6 48.96 mg，VD 70.4 IU，VE 21 333.36 IU，泛酸 pantothenic acid 20.46 mg，烟酰胺 nicotinamide 484.85 mg，Cu (as copper sulfate) 10.58 mg，Fe (as ferrous sulfate) 35.56 mg，Mn (as manganese sulfate) 33.54 mg，Zn (as zinc sulfate) 30.92 mg，I (as potassium iodide) 2.46 mg，Se (as sodium selenite) 5.93 mg，Co (as cobalt chloride) 1.11 mg。

1.4 训练场地

试验马匹在昭苏马场西域赛马场进行训练。训练场地为西域赛马场赛道。赛道由椭圆形沙道和草道组成。沙道由细沙构成，深度 40 cm，底部为土基，道宽 21 m，周长为 1 000 m；草道由天然的牧草形成，宽 21 m，周长为 1 100 m。

1.5 训练方案

试验马匹每天训练时间为 11:30—13:00，11:30 将试验马匹备鞍后，由骑手牵至训练场首先在草道上慢走 1 圈，随后进入沙道，逐渐加快速度慢跑 1 圈，使马匹充分活动，随后进入正式训练，训练方案见表 2。

表 2 训练方案

Table 2 Train program

训练时间 Training time	训练强度 Training intensity	训练距离 Distance of training/m	重复次数 Repetitions
第1～7天 Day 1 to 7	全速的 80%1)	1 000	2

chinaXiv:201711.01425v1

ChinaXiv合作期刊

第8～14天 Day 8 to 14	全速的 80%	1 000	3
第15～21天 Day 15 to 21	全速的 80%～90%[2)]	1 000	3
第22～30天 Day 22 to 30	全速的 80%～90%	1 000	4

[1)] 全速的 80%是指骑手控制试验马匹进行 1 000 m 速步赛时的用时为 200 s。80% of full speed mean tortters controlled by riders conduct 1 000 m trot training race using 200 s.

[2)] 全速的 80%～90%是指骑手控制试验马匹进行 1 000 m 速步赛时的用时为 175 s。80% to 90% of full speed means tortters controlled by riders conduct 1 000 m trot training race using 175 s.

1.6 数据获得及样品采集

1.6.1 体重数据的获得

分别在试验开始前（第 0 天）、第 30 天早晨将空腹马匹驱赶至地磅上，称取试验马匹体重。

1.6.2 速步赛成绩的获得

分别在试验第 0 天、第 30 天进行 1 000 m 速步赛，并使用秒表测定 1 000 m 速步赛用时，计算 1 000 m 速步赛成绩。

1.6.3 血样的采集

分别于试验的第 0 天、第 10 天、第 20 天、第 30 天早晨空腹颈静脉采集血样 5 mL 至用肝素钠抗凝采血管中，1 500×*g* 离心 15 min，分离制得血浆并于-20 ℃冷冻保存备用；在试验的第 30 天，分别于速步赛赛前 1 h、赛后即刻、赛后 20 min 和赛后 2 h 颈静脉采集血样分别至普通采血管和肝素钠抗凝采血管中，将肝素钠抗凝采血管采集的血样 1 500×g 离心 15

chinaXiv:201711.01425v1

min，分离制得血浆并于-20 ℃冷冻保存备用，普通采血管中的全血立即用于测定血液酸碱度相关指标。

1.7 测定指标及方法

血浆中睾酮（T）、雄烯二酮（AD）、雌酮（E_1）、雌二醇（E_2）、雌三醇（E_3）、促性腺激素释放激素（GnRH）、卵泡刺激素（FSH）、促黄体生成激素（LH）水平由北京华英生物技术研究所检测。

血浆中谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）、超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化氢酶（CAT）活力，总抗氧化能力（T-AOC）及尿酸（UA）、丙二醛（MDA）含量由购自于北京华英生物技术研究所的试剂盒测定，具体测定方法参照试剂盒说明进行操作。

全血的 pH、总二氧化碳（TCO_2）含量、二氧化碳分压（PCO_2）、碳酸盐（HCO_3^-）含量、碱剩余（BEecf）使用 i-STAT 血气仪（购自上海企伟实业有限公司）测定，CG8+测试片购自北京力德鸿奥公司。

1.8 数据统计与分析

数据采用 Excel 2010 进行初步整理，试验结果以平均值±标准差（mean±SD）表示。用 SPSS 18.0 软件进行统计学分析，并进行独立样本 *t* 检验。

2 结果与分析

2.1 补喂来曲唑对速步马 1 000 m 速步赛成绩的影响

由表 3 可知，补喂来曲唑 30 d 后，试验组马匹的平均速度快于对照组，但差异不显著（$P>0.05$）。

表 3 补喂来曲唑对速步马 1 000 m 速步赛成绩的影响

Table 3 Effects of supplemental feeding letrozole on performance of 1 000 m trot training race of trotters

(*n*=5) m/s

项目	第 0 天平均速度	第 30 天平均速度

chinaXiv:201711.01425v1

chinaXiv:201711.01425v1

Items	Average speed of day 0	Average speed of day 30
对照组 Control group	7.15±1.30	7.25±1.42
试验组 Trial group	7.34±2.08	7.92±2.30

同一项目同列数据肩标不同大写字母表示差异极显著（*P*＜0.01），不同小写字母表示差异显著（*P*＜0.05），相同字母或无字母表示差异不显著（*P*＞0.05）。下表同。

In the same column, values of the same item with different capital letter superscripts mean extremely significant difference (*P*<0.01), and with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05). The same as below.

2.2 补喂来曲唑对速步马 1 000 m 速步赛赛前、赛后血浆抗氧化指标的影响

由表 4 可知赛，前 1 h 时，对照组、试验组马匹血浆中 CAT、GSH-Px、SOD 活力，T-AOC 及 UA、MDA 含量差异不显著（*P*＞0.05）；赛后即刻，试验组马匹血浆中 CAT、SOD 活力，UA 含量及 T-AOC 均高于对照组，而 MDA 含量则低于对照组（*P*＞0.05）；赛后 20 min 时，试验组马匹血浆中 GSH-Px、SOD 活力，UA 含量及 T-AOC 均高于对照组（*P*＞0.05），而 MDA 含量低于对照组（*P*＞0.05）；赛后 2 h 时，试验组马匹血浆中 CAT、SOD 活力及 UA 含量均高于对照组（*P*＞0.05），同时试验组马匹血浆中 GSH-Px 活力、T-AOC 分别极显著（*P*＜0.01）和显著（*P*＜0.05）高于对照组，而 MDA 含量则显著低于对照组（*P*＜0.05）。

表 4 补喂来曲唑对速步马 1 000 m 速步赛赛前、赛后血浆抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of supplemental feeding letrozole on plasma antioxidant indices before and after 1 000 m trot training race of trotters (*n*=5)

项目 Items	赛前 1 h 1 h before the race	赛后即刻 The end of the race	赛后 20 min 20 min after the race	赛后 2 h 2 h after the race
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)				

对照组 Control group	44.78±1.50	44.11±4.87	51.51±1.63	47.71±1.85
试验组 Trail group	42.27±0.76	47.48±3.00	41.91±0.69	48.77±0.74
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-PX/(U/mL)				
对照组 Control group	826.67±83.59	799.77±25.54	826.28±3.51	807.52±8.83[B]
试验组 Trail group	854.42±80.58	793.65±22.63	862.25±25.77	874.83±10.84[A]
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)				
对照组 Control group	98.93±22.41	80.24±26.88	78.76±25.75	77.43±10.79
试验组 Trail group	101.65±23.61	105.16±21.55	105.73±6.29	97.86±3.19
尿酸 UA/(μmol/L)				
对照组 Control group	37.32±2.31	52.68±9.22	45.19±8.64	34.26±3.22
试验组 Trail group	38.80±3.50	54.57±10.23	48.81±6.60	42.51±15.93
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)				
对照组 Control group	9.24±0.36	9.86±0.33	10.58±0.28	10.43±0.22[b]
试验组 Trail group	8.69±0.05	10.67±0.57	11.21±0.18	11.22±0.03[a]
丙二醛 MDA/(nmol/mL)				
对照组 Control group	5.08±0.34	5.31±0.40	5.35±0.08	5.33±0.11[a]

chinaXiv:201711.01425v1

试验组 Trail group	4.76±0.22	5.16±0.35	5.09±0.23	4.98±0.03[b]

2.3 补喂来曲唑对速步马 1 000 m 速步赛前、赛后血液酸碱度相关指标的影响

由表 5 可知，试验组速步马赛前、赛后血液中 TCO_2 含量、PCO_2 与对照组相比差异不显著（P＞0.05）；试验组赛后即刻、赛后 20 min、赛后 2 h 血液中 HCO_3^- 含量低于对照组，BEecf、pH 高于对照组，但上述指标组间差异均不显著（P＞0.05）。

表 5 补喂来曲唑对速步马 1 000 m 速步赛赛前、赛后血液酸碱度相关指标的影响

Table 5 Effects of supplemental feeding letrozole on blood acid-base degree related indices before and after 1 000 m trot training race of trotters (n=5)

项目 Items	赛前 1 h 1h before the race	赛后即刻 The end of the race	赛后 20 min 20 min after the race	赛后 2 h 2 h after the race
总二氧化碳含量 TCO_2 content/(mmol/L)				
对照组 Control group	31.67±2.31	24.00±3.00	28.00±0.00	28.67±2.08
试验组 Trail group	31.00±2.65	25.67±3.06	28.00±4.58	28.00±1.41
二氧化碳分压 PCO_2/mmHg				
对照组 Control group	45.63±3.36	38.05±2.62	38.10±1.25	42.70±4.38
试验组 Trail group	44.70±1.85	35.13±1.33	38.50±2.34	41.33±3.78
碳酸盐 HCO_3^-/(mol/L)				
对照组 Control group	30.50±2.43	24.35±2.62	26.93±0.32	28.37±1.46
试验组 Trail group	29.73±2.23	22.90±1.98	28.30±1.97	26.95±1.63
碱剩余 BEecf/(mol/L)				
对照组 Control group	6.00±2.65	-1.33±3.79	3.00±1.00	4.00±1.73
试验组 Trail group	7.00±0.00	0.67±4.51	5.50±2.12	5.50±2.12

chinaXiv:201711.01425v1

pH				
对照组 Control group	7.43±0.02	7.42±0.04	7.45±0.02	7.44±0.01
试验组 Trail group	7.43±0.01	7.44±0.06	7.47±0.02	7.45±0.01

2.4 补喂来曲唑对速步马血浆激素水平的影响

由表 6 可知，试验第 10 天、第 20 天、第 30 天时试验组马匹血浆中 T、AD 水平均高于对照组，而 E_1、E_2 水平均低于对照组（P>0.05），但差异均不显著（P>0.05）。试验第 10 天、第 20 天、第 30 天时试验组马匹血浆中 GnRH、FSH、LH、E_3 水平与对照组相比均差异不显著（P>0.05）。

表 6 补喂来曲唑对速步马血浆激素水平的影响

Table 6 Effects of supplemental feeding letrozole on plasma hormone levels of trotters (n=5)

项目 Items	第 0 天 Day 0	第 10 天 Day 10	第 20 天 Day 20	第 30 天 Day 30
睾酮 T/(ng/ml)				
对照组 Control group	0.14±0.02	0.12±0.03	0.16±0.04	0.13±0.01
试验组 Trail group	0.15±0.01	0.45±0.38	0.36±0.24	0.51±0.24
雄烯二酮 AD/(nmol/L)				
对照组 Control group	11.59±0.56	10.52±1.42	11.82±1.52	10.43±0.91
试验组 Trail group	13.52±4.08	21.96±12.44	20.66±7.17	24.65±7.47
雌二醇 E_2/(pg/mL)				
对照组 Control group	35.26±2.23	39.18±5.85	35.40±15.96	35.51±9.34

chinaXiv:201711.01425v1

试验组 Trail group	34.82±3.04	28.19±0.51	34.20±1.75	33.75±6.32
雌三醇 E_3/(ng/mL)				
对 照 组 Control group	5.61±1.83	4.97±1.36	7.82±1.32	6.63±0.51
试验组 Trail group	6.14±2.38	6.46±0.47	6.37±0.22	6.40±0.50
雌酮 E_1/(pmol/L)				
对 照 组 Control group	100.28±2.80	105.13±16.72	93.56±43.26	86.6±15.39
试验组 Trail group	93.85±11.87	71.76±1.86	72.21±1.99	83.62±12.78
促性腺激素释放激素 GnRH/(pg/mL)				
对 照 组 Control group	51.39±2.35	47.72±0.88	50.23±0.32	48.15±0.07
试验组 Trail group	47.08±0.08	46.23±0.05	49.90±1.89	47.94±2.92
卵泡刺激素 FSH/(mIU/mL)				
对 照 组 Control group	7.61±0.26	7.59±0.45	8.75±1.00	8.34±0.09
试验组 Trail group	8.19±1.08	8.32±1.07	9.26±1.03	8.35±0.50
促黄体生成激素 LH/(mIU/mL)				
对 照 组 Control group	20.89±0.51	18.40±1.44	19.65±0.80	21.74±0.62
试验组 Trail group	19.93±0.73	22.19±1.03	21.47±0.02	19.98±2.10

143 2.5 补喂来曲唑对速步马体重的影响

chinaXiv:201711.01425v1

由表 7 可知，试验组与对照组在试验期间体重均呈增加趋势，从增长率上来看试验组马匹比对照组马匹提高 59.49%（P>0.05）。

表 7　补喂来曲唑对速步马体重的影响

Table 7　Effects of supplemental feeding letrozole on body weight of trotters (n=5)

项目 Items	初始重 Initial weight/kg	终末重 Final weight/kg	增重 Weight gain/kg	增长率 Growth rate/%
对照组 Control group	412.33±51.81	426.00±44.54	13.67±10.02	3.53%±0.03
试验组 Trial group	384.00±90.51	404.00±82.02	20.00±8.49	5.63%±0.04

3 讨　论

3.1 补喂来曲唑对速步马 1 000 m 速步赛运动性能的影响

运动马的运动性能不仅与马的品种、训练方法（方案）、饲粮中的营养物质有关，机体内中肌肉的多少及肌肉力量的大小也是重要的影响因素。运动马肌肉做功能力的强弱是衡量运动性能的重要指标。因此，促进肌肉生长和增加肌肉力量是提高运动马运动性能的必要条件。研究表明，肌肉的形成及其力量的增加受到饲粮中蛋白质水平、训练强度[9]、机体内激素水平以及 Na^+、K^+含量等因素的影响[10]。Griggs 等[11]的研究表明，雄激素可刺激肌原纤维中新肌丝的形成，引起肌原纤维增大并分裂，从而促进蛋白质合成，使肌肉发达，力量增强，最终促进肌肉的生长、增大，并减少脂肪的积累。

本试验结果显示，补喂来曲唑 30 d 后可以提高试验组速步马 1 000 m 速步赛时的速度，这可能与来曲唑可调节速步马雄激素代谢有关。来曲唑可与亚铁血红蛋白中的铁原子结合，与内源性底物竞争芳香化酶的活性位点，可逆性的抑制芳香化酶的活性，从而选择性的抑制雌激素的生物合成，有效抑制体内雄激素向雌激素转化[12]，使雄激素在机体内造成短暂的增加，雄激素的增加可进一步作用于肌原细胞，促进肌肉的生长和力量的增加。研究表明，长期运动训练会导致运动马体内睾酮水平下降，低睾酮水平减少机体的同化作用而造成肌肉

chinaXiv:201711.01425v1

chinaXiv:201711.01425v1

量减少，使运动训练效果下降[8]。本试验的结果显示，补喂来曲唑可提高速步马血浆中 T、AD 水平，这对维持速步马比赛过程中体内雄激素水平、提高运动性能有一定的帮助。来曲唑作为一种芳香化酶抑制剂，在人体使用后会出现一些副作用，如头痛、潮热、恶心、骨痛和体重增加等[13]，而目前关于来曲唑应用于动物所产生的副作用的报道较少，有待进一步研究。

3.2 补喂来曲唑对速步马 1 000 m 速步赛赛前、赛后血浆抗氧化指标的影响

高强度的运动或长时间的耐力运动，会使运动马体内的血液分布发生变化，为了保证机体维持正常的运动能力，血液将流向运动强的器官，运动弱的器官可能出现暂时性缺血，缺血组织中辅酶 Q 脱离了电子传递链，发生了自动氧化，导致了氧自由基的产生。另外，脱离电子传递链的泛半醌自由基（QH·）也可以从邻近的多不饱和脂肪酸分子中夺取氢形成脂质自由基（LO·），引发脂质过氧化反应，导致产生大量的自由基，引起机体的抗氧化系统发生变化[14]。因此，在运动马的训练与比赛中消除自由基、提高机体的抗氧化能力是亟需解决的问题。研究证明，雄激素对机体氧化应激的消除有一定的作用[15]。任国庆等[16]研究了 T 对试验兔的抗氧化作用，发现 T 可以提高机体的抗氧化能力，降低血浆中 MDA 含量。马海田等[17]研究发现，给大鼠灌胃脱氢表雄酮能够降低血清和肝脏中 MDA 的含量，提高肝脏中 SOD 的活力。Keymel 等[18]研究发现，接受雄激素去势治疗患者机体出现氧化应激失衡，推测雄激素是抑制氧化应激的重要物质。

在本试验中，补喂来曲唑可提高速步马 1 000 m 速步赛赛后血浆中 CAT、SOD、GSH-Px 活力，UA 含量及 T-AOC，降低血浆中 MDA 含量，可能是由于补喂的来曲唑提高了速步马血浆中 T、AD 水平，增加的 T、AD 在速步马体内发挥抗氧化的作用，使血浆中 GSH-Px 活力增加，T-AOC 提高，同时抑制机体内的脂质过氧化，使 MDA 含量降低。由此表明，来曲唑可提高速步马体内抗氧化酶活力，清除自由基，提高速步马机体的抗氧化能力。因此，补喂来曲唑能够在提高速步马成绩的同时减少运动氧化应激，并对速步马运动后机体机能的

chinaXiv:201711.01425v1

快速恢复具有积极的作用。但由于试验条件的限制，本试验选用的试验动物数量较少，因此后期有必要对来曲唑可提高速步马运动性能、机体抗氧化能力这一试验结果进行大群验证。

3.3 补喂来曲唑对速步马 1 000 m 速步赛赛前、赛后血液酸碱度相关指标的影响

血液酸碱度可反映动物体内血液中气体运输能力和维持酸碱平衡的能力[19]，血液中 pH，TCO_2 含量、PCO_2、HCO_3^-含量、BEecf 是评判机体酸碱平衡的重要指标，当机体 pH、HCO_3^-含量下降，TCO_2 含量、PCO_2 上升，说明机体酸离子堆积较多，同时 BEecf 变小说明机体酸堆积过多，机体缓冲酸碱平衡能力减弱[20]。赛艇运动员高强度运动后血液中乳酸含量升高，pH、HCO_3^-含量显著降低，机体内环境呈酸性，而运动员在运动后立即吸氧后血液中乳酸含量显著下降，pH、HCO_3^-含量也很快恢复正常[21]。

在本试验中，试验组速步马 1 000 m 速步赛后血液中 BEecf、pH 高于对照组，HCO_3^-含量低于对照组，说明试验组马匹体内血液中气体运输能力和缓解酸碱度的能力较强，有较多的氧气进入马的体内用于有氧代谢供能，使乳酸含量降低。出现这种结果的原因有 2 个：其一，由于补喂来曲唑使机体雄激素水平升高，雄激素可以促进蛋白质合成，减少蛋白质分解，使肌肉发达，力量增强[2]，消耗的能量减少；其二，补喂来曲唑调节了机体雄激素水平，使血浆 T 水平增加，作为机体的同化激素可以增加氨基酸的摄入，促进核酸和蛋白质的合成，从而有较多的蛋白质可用于速步马的氧化功能。因此，补喂来曲唑可提高速步马血液中气体运输能力和缓解酸碱度的能力，同时有助于消除酸离子堆积。

3.4 补喂来曲唑对速步马血浆激素水平的影响

动物体内激素的调节是一个复杂的过程。在激素的调节过程中，GnRH 经垂体门脉系统到达垂体前叶，促进 FSH、LH 分泌。LH、FSH 则可刺激卵泡膜细胞和睾丸间质细胞分泌性激素，FSH 能够促进粒层细胞芳香化酶的活化，使 AD 和 T 向 E_1 和 E_2 转化[4]，同时过量生成的性激素对 LH、FSH 和 GnRH 的分泌又有负反馈机制，生成的 T 在芳香化酶的催化下转化成 E_2，使血液中雌激素水平升高[22]。当体内 E_2、T 水平升高后又抑制 GnRH 释放，从

而减少 LH、FSH 的分泌量，最终减少 E_2、T 的分泌量，使机体内性激素水平达到一个平衡状态。

来曲唑能够与亚铁血红蛋白中的铁原子结合，与内源性底物竞争芳香化酶的活性位点从而可逆性的抑制该酶的活性，选择性的抑制雌激素的生物合成，从而有效抑制体内雄激素向雌激素转化，并在体内短暂增加雄激素的水平[2]。刘芸等[23]报道卵巢低反应者口服 2.5 mg/d 来曲唑能够显著提高患者血浆内 T 水平。陶月红等[24]给青春期男童补喂来曲唑 2.5 mg/d，结果发现试验组血浆中 T 水平变化率相对于服用之前增加 61.6%，且与对照组相比增长有显著性差异。在本试验中，补喂来曲唑使试验马匹血浆中 T、AD 水平增加，同时血浆中 E_1、E_2、E_3 水平有降低的趋势；此外，补喂来曲唑并未影响马匹血浆中的 GnRH、FSH、LH 水平，进一步证实来曲唑的作用发生在外周组织，并没有干扰下丘脑-垂体轴。

3.5　补喂来曲唑对速步马体重的影响

雄激素是体内重要的合成类激素，在动物机体内除了具有激素样作用之外，还可促进机体内蛋白质的合成，调节肌肉的生长和骨骼的增长[3]。T 和 AD 是机体内主要的雄激素，可促进机体内的合成代谢，具有刺激组织摄取氨基酸、促进核酸与蛋白质合成、促进肌纤维和骨骼生长的作用[7]。来曲唑可通过抑制芳香化酶活性，在机体内部阻止雄激素向雌激素转化，其中主要是抑制 T 和 AD 向雌激素转化，从而使得雄激素在体内短暂积聚，蓄积的雄激素又可刺激胰岛素样生长因子 I [3]，使胰岛素样生长因子 I 通过调节 RNA 和 DNA 合成来促进不同类型细胞的增殖和分化，从而促进细胞的有丝分裂，最终促进蛋白质的合成，抑制蛋白质的降解，增加机体蛋白质的沉积[9]。刘艳丽[7]研究表明，给大鼠每天灌胃来曲唑 1 mg/kg·BW，试验组体重比对照组高出 32.69%。王芳等[25]研究也发现，给大鼠补喂硫酸脱氢表雄酮 6 mg/d 后，大鼠体重明显增加。

在本试验中，补喂来曲唑可增加速步马体重。结合激素对蛋白质合成的调节作用来看，试验组体重的增加可能与机体内雄激素 T、AD 水平的升高有直接关系。来曲唑被速步马吸

chinaXiv:201711.01425v1

收后经血液循环参与到机体代谢中，通过抑制雄激素向雌激素转化，从而增加了机体内 T、AD 水平，T、AD 水平的增加可促进机体内的合成代谢，刺激组织摄取氨基酸、促进核酸与蛋白质合成、促进肌纤维和骨骼生长，从而导致速步马体重的增加。

4 结 论

给速步马补喂 5 mg/（匹 • d）可缩短 1 000 m 速步赛比赛用时，提高机体的抗氧化能力和酸碱缓冲能力，并使血浆中 T 和 AD 水平上升，同时增加速步马的体重。

参考文献：

[1] PROUS J,GRAUL J.Letrozole[J].Drugs of the Future,1994,19(4):335-337.

[2] PAUL E G,JAMES N I,SLIAVANA R,et al.A randomized trial of letrozole in postmenopausal women after five years of tamoxifen therapy for early-stage breast cancer[J].The New England Journal of Medicine,2003,349(19):1793-1802.

[3] WEIL S J,VENDOLA K,ZOU J,et al.Androgen and follicle-stimu-lating hormone interactions in primate follicle development[J].The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism,1999,83(7):2951-2956.

[4] MICHEL G,BAULIEU E.Androgen receptor in rat skeletal muscle:characterization and physiological variations[J].Endocrinology,1980,107(6):2088-2098.

[5] 白双勇,王剑松,赵庆华.重组人生长激素联合来曲唑治疗肥胖男性少弱精子症疗效分析[J].中华男科学杂志,2015,03:280-282.

[6] 赵华,曾凡星.雄性素对运动骨骼肌 MAPK 和 mTOR 信号的作用研究[J].北京体育大学学报,2012,35(11):46-53.

[7] 刘艳丽.来曲唑法和脱氢表雄酮法诱导 PCOS 大鼠模型的比较研究[D].硕士学位论文.郑州：郑州大学，2011.

[8] RICHARDSON A B,JOBE F W,COLLINS H R.The shoulder in competitive swimming[J].

chinaXiv:201711.01425v1

ChinaXiv合作期刊

American Journal of Sports Medicine,1980,8(3):159-163.

[9] 王宁,王建文,孟军,等.间歇训练法对速步马血液生化指标影响的研究[J].新疆农业科学,2014,51(12):2308-2314.

[10] 姜红润,王留东.决定和影响肌肉力量的因素[J].河北体育学院学报,2003,17(3):54-57.

[11] GRIGGS R C,KINGSTON W,JOZEFOWICZ R F,et al.Effect of testosterone on muscle mass and muscle protein synthesis[J].Journal of Applied Physiology,1989,66(1):498-503.

[12] 涂晓贤.不同剂量来曲唑促排卵效果的系统评价[D].硕士学位论文.福州:福建医科大学,2013.

[13] HOLZER H,CASPER R,TULANDI A.A new era in ovulation induction[J].Fertility and Sterility,2006,85(2):277-784.

[14] SOUZA-SILVA A A,MOREIRA E,DE M D, et al. High intensity interval training in the heat enhances exercise-induced lipid peroxidation, but prevents protein oxidation in physically active men[J].Temperature,2015,3(1)167-175.

[15] 李霖.雄激素受体在波动性高糖致人脐静脉内皮细胞损伤中的作用及其机制研究[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2012.

[16] 任国庆,孙广辉.睾酮对实验兔血脂和抗氧化作用的影响[J].江苏医药,2001,27(10):785.

[17] 马海田,田朝阳,邹思湘,等.脱氮表雄酮对大鼠脂类代谢和抗氧化作用的影响[J].中国应用生理学杂志,2009,25(1):95-96.

[18] KEYMEL S,KALLKA C,RASSAF T,et al.Impaired endothelial progenitor cell function predicts age-dependent carotid intimal thickening[J].Archiv Für Kreislaufforschung,2008, 103(6):582-586.

[19] MARIK P E.Handbook of evidence-based critical care[M].Switzerland:Springer International Publishing,2015:329-347.

chinaXiv:201711.01425v1

ChinaXiv合作期刊

[20] 孟军,刘志安,文立,等.伊犁马 1000 m 速步训练赛各阶段静脉血中血气指标变化研究[J].中国畜牧兽医,2014,11:139-143.

[21] 何伟,王绵珍,王治.两种强度运动后的血气指标变化及其与血浆 K^+浓度和 pH 值的关系[J].四川大学学报:医学版,2005,36(5):747-748.

[22] ROSA S,ADELE C,ROCCO M,et al.Insulin-like growth factor-I,regulating aromatase expression through steroidogenic factor 1,supports estrogen-dependent tumor Leydig cell proliferation.[J].Cancer Research,2007,67(17):8368-8377.

[23] 刘芸,邢福祺,何凌云,等.芳香化酶抑制剂在卵巢低反应者超促排卵中的作用[J].南方医科大学学报,2009,03:559-561.

[24] 陶月红,经纬,沈涛.来曲唑治疗男童青春早期乳房发育症的疗效分析[J].中华临床医师杂志,2013,20:9174-9177.

[25] 王芳,杨文静,李英勇.孕期高雄激素环境对 SD 大鼠仔代体重及 OGTT 的影响[J].现代妇产科进展,2009,11:813-815.

chinaXiv:201711.01425v1

Effects of Supplemental Feeding Letrozole on Athletic Performance, Plasma Antioxidant Indices and Hormone Levels, and Body Weight of Trotters

MA Jun　LI Xiaobin　DENG Haifeng　ZHAO Fang　YANG Kailun*

(*Xinjiang Key Laboratory of Meat & Milk Production Herbivore Nutrition, College of Animal Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi* 830052, *China*)

Abstract: This experiment aimed to study the effects of supplemental feeding letrozole on athletic performance, plasma antioxidant indices and hormone levels, and body weight of trotters. Ten health *Yili* male horse with 2.5 years old and the average body weight of (398.16±25.34) kg, and similar performance based on strict training were randomly divided into 2 groups (control group and trial group）, and each group had 5 horse. all trotters were fed with 10 kg mixed pasture and 3 kg pelleted concentrate every day, basis on this, each horse of trail group was fed with 5 mg/d letrozole, and 30 d supplemental feeding experiment and training experiment were conducted. At

*Corresponding author, professor, E-mail： yangkailun2002@aliyun.com

(责任编辑　菅景颖)

chinaXiv:201711.01425v1

day 0, 10, 20 and 30 of the experiment, blood samples were collected in the morning from jugular vein to determine the levels of hormones. Body weight was recorded at d 0 and 30 before ingestion in the morning. The 1 000 m trot training race was carried at d 0 and 30, and blood samples were collected from jugular vein at 1 h before the race, the end of the race, 20 min after the race and 2 h after the race to determine the plasma antioxidant indices and blood acid-base degree related indices. The results showed as follows: supplemental feeding letrozole could increase the performance of 1 000 m trot training race of trotters. The enzyme activities of catalase (CAT), glutathion peroxidase (GSH-Px), superoxide dismutase (SOD), the total antioxidant capacity (T-AOC) and the content of uric acid (UA) in plasma in trial group were higher than those in control group when 2 h after the race, and the activity of GSH-Px and T-AOC reached extremely significant（$P<0.01$）and significant level（$P<0.05$）, respectively, while the content of malondialdehyde (MDA) in plasma in trial group was significant lower than that in control group（$P<0.05$）. In aspect of blood acid-base degree related indices, the content of HCO_3^- in blood in trial group was lower than that in control group （$P>0.05$）, while the content of BEecf and pH in blood in trial group were higher than those in control group （$P>0.05$） when the end of the race, 20 min after the race and 2 h after the race. The levels of testosterone (T) and androstenediol (AD) in plasma at day 10, 20 and 30 of the experiment in trial group were higher than those in control group（$P>0.05$）. In addition, supplemental feeding letrozole could increase the body weight. Therefore, supplemental feeding 5 mg/（horse •d） for trotters can short the using time of the 1 000 m trot training race, increase the antioxidant ability, acid buffering capacity, the levels of T and AD in plasma and the body weight.

Key words: letrozole; trotters; athletic performance; antioxidant indices; hormone; body weight